

Pierre DUBREUIL *

Bassins représentatifs et expérimentaux

Réflexions sur le symposium A.I.H.S. de Budapest (septembre 1965)

Des auteurs en provenance de 19 pays ont présenté 80 communications; les trois quarts d'entre elles sont le fait de spécialistes appartenant aux 5 pays suivants : U. S. A. (15), Hongrie (12), Tchécoslovaquie (12), U. R. S. S. (10) et France (9).

Les préoccupations de la grande majorité des spécialistes présents se situent dans le cadre des climats tempérés et froids. A quelques rares exceptions près, les problèmes spécifiques des climats chauds, arides ou humides, ne sont guère évoqués que dans les communications nord-américaines et françaises (6 auteurs sont des chercheurs de l'O. R. S. T. O. M. et 2 autres s'intéressent à l'érosion en zone méditerranéenne).

Fort heureusement la quasi-totalité des questions relatives aux objectifs, aux méthodes d'exploitation et d'interprétation, ou aux équipements, offre un caractère universel indépendant des conditions climatiques et de nature à intéresser un chercheur de l'O. R. S. T. O. M.

Dans cet ordre d'idée, si l'on écarte une dizaine de communications traitant de points particuliers en marge du thème central et une quinzaine d'autres consacrées à la description de bassins représentatifs en service ou en projet dans divers pays qui sont d'un intérêt universel limité, on peut voir que la majorité des rapports se range sous la rubrique organisation, objectifs, méthodes et philosophie du bassin représentatif ou expérimental; on trouve à côté des communications à objectifs plus étroits, qu'il s'agisse des problèmes de l'action de l'eau sur la terre (géomorphologie, érosion...), de la mesure de l'équivalent en eau de la neige, du rôle des lysimètres..., etc.

Nous n'irons pas plus loin dans l'évocation du contenu scientifique du symposium de Budapest; notre propos se limite à quelques réflexions sur les communications étrangères les plus intéressantes pour un chercheur de l'O. R. S. T. O. M. Il va sans dire que ce choix nous conduit à passer sous silence de nombreuses questions (sur le thème neige et glace en particulier) mais aussi peut-être à répéter certaines affirmations déjà connues mais dont l'importance nous a paru s'accroître encore à cette occasion.

Quatre pôles principaux ont surtout retenu notre attention : planification des bassins représentatifs (objectifs, méthodes, définitions...), équipement, méthodes d'analyse et publications; c'est autour d'eux que se concentrera l'essentiel de notre propos.

* Directeur de Recherches de l'O.R.S.T.O.M., Chef du département de la Recherche appliquée à la division « hydrologie ».

Avant d'aborder le premier thème, il faut citer W. LASZLOFFY (1) qui a su dégager à côté de l'intérêt des bassins représentatifs les nécessités auxquelles devait s'astreindre l'organisme qui se lance dans cette voie de recherches :

- définition précise du programme d'études et ferme intention de procéder à une élaboration continue des données d'observations;
- volontariat du chercheur pour une tâche parfois ingrate, souvent effacée;
- présence permanente sur le terrain de techniciens qualifiés jouissant d'avantages compensateurs (logement, véhicule);
- paiement permanent et à un taux correct des observateurs subalternes.

On ne peut que souscrire à cette saine philosophie dont l'application n'interdit pas que l'on recherche les moyens d'automatiser l'exploitation des bassins représentatifs, comme la Hongrie nous en montre l'exemple.

1. — LES OBJECTIFS POURSUIVIS ET LES MOYENS DE LES ATTEINDRE : LES DIVERS TYPES DE BASSINS REPRÉSENTATIFS ET EXPÉRIMENTAUX

Le bassin représentatif d'une région hydrologique homogène a pu être pendant un certain temps, au début de sa mise en œuvre, considéré comme un bon moyen de pallier, en dessous d'une certaine surface limite, l'insuffisance du réseau hydrométrique dans la détermination des ressources en eau. On s'est rapidement rendu compte que tout en étant un outil efficace, il ne pouvait prétendre à l'universalité dans son domaine d'intervention. Les premiers résultats ont en effet montré la complexité des relations et interactions entre les éléments du cycle de l'eau et les facteurs physico-climatiques conditionnels : cette complexité a rendu nécessaire la diversification des objectifs de recherche et, par voie de conséquence, celle du bassin représentatif, moyen d'atteindre ces objectifs. Aujourd'hui, sous la désignation « bassin ou terrain représentatif ou expérimental » se rangent de nombreux outils répondant à des questions variées.

L'engouement, voire le snobisme, dont a été affecté l'instrument « bassin représentatif », l'ont parfois desservi car la confusion du moyen et de la fin conduit à un bilan d'efficacité dérisoire; aujourd'hui, il n'est plus permis de « faire du bassin représentatif » sans objectif précis. L'interaction des moyens et des objectifs a été démêlée par K. SZESZTAY (2) qui présente un tableau récapitulatif et exhaustif à double entrée des divers domaines de recherche et d'étude en face des moyens appropriés.

Des précisions importantes aux complexes objectifs moyens ont été apportées dans deux domaines différents et particuliers :

- a) celui des modifications de la couverture forestière et de son influence sur les éléments du cycle de l'eau par W. D. STRIFFLER (3);
- b) celui des moyens d'études de l'érosion, des transports solides et de la géomorphologie des thalwegs par R. P. PIEST et H. G. HEINEMANN (4).

Le classement des objectifs poursuivis et des moyens de les atteindre, auquel il nous paraît utile d'aboutir, s'inspire étroitement de ceux que proposent sans grande divergence à la fois L. L. KELLY et L. M. GLYPH JR. (5), d'une part, dans leur remarquable évocation historique et bilan actuel des études hydrologiques au Service des Recherches agricoles du Département de l'agriculture des U. S. A., et M. I. L'VOVICH (6), d'autre part, dans sa synthèse de la position des chercheurs soviétiques sur ce thème.

Que le bassin d'études soit à caractère représentatif ou expérimental, il a tendance à grouper un ensemble de moyens distincts qui peuvent se ranger suivant leur échelle d'espace en 4 classes que nous allons examiner successivement.

1.1. — **Le bassin représentatif d'une région hydrologique homogène** reste l'instrument de base employé pour répondre, à la place du réseau, aux questions relatives aux ressources en eau disponibles, à l'établissement du bilan hydrique, à la mise au point des relations entre les divers termes de ce bilan et les facteurs physico-climatiques conditionnels et tout particulièrement à celle liant pluies et ruissellement.

Sur ce bassin représentatif, on procède aux mesures fines des précipitations, du débit liquide et des sédiments en suspension; on y exécute parfois des observations plutôt qualitatives sur le charriage de fond, les mouvements latéraux et verticaux des lits, et le niveau des nappes souterraines.

Pour permettre d'étudier la variation des éléments du régime hydrologique avec la surface drainée, le bassin représentatif doit occuper une gamme étendue de dimensions : entre quelques dizaines et quelques centaines de km² en moyenne; en dessous, sa représentativité est trop réduite, au-dessus, son coût d'exploitation devient prohibitif.

La définition de la représentativité d'un bassin est le point délicat de cet instrument. Outre la contribution que nous avons apportée à la détermination des régions hydrologiques homogènes (7), une préoccupation du même ordre est exprimée par C. TOEBES (8) dont les clés de régionalisation appliquées en Nouvelle-Zélande procèdent des mêmes hypothèses pour individualiser 89 régions; aux U. S. A. le territoire continental est subdivisé en 140 « land resources areas », selon des critères plus attachés au complexe sol-végétation pris sous l'angle de l'utilisation et de la conservation (5). L'objectif final est de posséder au moins un bassin représentatif par région hydrologique homogène; les deux pays précités en ont déjà respectivement 44 et une centaine environ.

Comme on le verra plus loin, l'emploi des régressions multiples permet de tenir compte dans la formation de l'écoulement, par exemple, de l'influence de divers facteurs physico-climatiques. Mais la difficulté apparaît lorsque l'on désire étendre les résultats obtenus à un bassin versant voisin d'apparence comparable; l'insuffisance quantitative des règles de régionalisation est alors manifeste. Sans faire complètement nôtre la boutade selon laquelle chaque bassin versant n'est vraiment représentatif que de lui-même, on ne peut lui nier une certaine part de vérité. Il faut comprendre qu'un bassin représentatif d'une certaine étendue est un ensemble complexe à l'issue duquel les éléments hydrologiques observables constituent en quelque sorte l'intégrale de tous les processus élémentaires apparus dans ce bassin sur les multiples et diverses unités homogènes de l'association sol-végétation. En effet, pour des conditions climatiques déterminées, si l'on ne tient pas compte du relief, la formation de l'écoulement — comme la part de tous les autres termes du bilan hydrique — dépend essentiellement de cette association sol-végétation. L'importance quantitative de cette association ne peut être connue qu'en étudiant le bilan hydrique d'unités homogènes de cette association, sur lesquelles sols et végétations offrent des aspects uniformes et constants. Le dégagement de cette notion d'unités sol-végétation homogènes permet de créer un nouvel instrument d'études d'étendue plus réduite que le bassin représentatif et dont les caractères s'accordent tout particulièrement pour en faire un outil d'analyse en face de l'outil de synthèse qu'est surtout finalement le bassin représentatif ainsi défini.

1.2. — **Le bassin élémentaire** — *unit source watershed* selon KELLY (5) — est par définition homogène quant au sol et à la couverture végétale naturelle ou artificielle (cultures ou autre type d'usage). Sa superficie est par conséquent réduite puisqu'il est souhaitable que l'on puisse y analyser la naissance de l'écoulement tant que l'influence du cheminement dans les lits reste négligeable. Entre 0,5 et 200 ha, on en trouve 150 en exploitation au Service des Recherches agricoles des U. S. A. (5), tandis qu'une limite supérieure de 4 km² est avancée ailleurs (8) et que les Russes (6) déclarent aussi se cantonner dans la gamme des dizaines d'hectares (parfois beaucoup plus en zones arides, jusqu'à quelques dizaines de km²). Il semble judicieux d'implanter la station d'un tel bassin à proximité de la naissance du premier thalweg élémentaire de concentration des eaux de ruissellement; aussi pourra-t-on y procéder non seulement aux observations de pluies — débits et matières en suspension comme sur le bassin représentatif, mais aussi à l'étude du mouvement des ravins (guillies) par érosion régressive et à la séparation du ruissellement sur le terrain et de l'écoulement en thalweg dont les vitesses différentes restent mal connues, méconnaissance qui constitue l'un des handicaps majeurs lors de l'ajustement des paramètres des modèles

mathématiques de l'écoulement. C'est enfin au niveau du bassin élémentaire que peut mieux se réaliser l'étude complexe de l'alimentation des nappes phréatiques et de leur relation avec l'écoulement superficiel et la pluviosité.

L'emploi conjoint du bassin représentatif et des bassins élémentaires y inclus constitue certainement le plus fructueux ensemble de moyens d'études hydrologiques. La comparaison de leurs résultats respectifs met en évidence le rôle du cheminement dans les lits et celui de la surface drainée sur l'importance relative des constituants du bilan hydrique. Dans cette optique, l'école américaine recommande de ne plus retenir pour représentatif d'une région hydrologique homogène un bassin en présentant les caractéristiques moyennes mais au contraire un bassin contenant toute la gamme de variations des facteurs physico-climatiques de la région afin qu'il soit réellement l'intégrale des bassins élémentaires.

Avant d'être ainsi associé au bassin représentatif, le bassin élémentaire était, de par sa nature et sa surface, employé exclusivement à des fins expérimentales. Il répond en effet parfaitement aux objectifs d'évaluation quantitative de la variation que subissent les éléments du régime hydrologique sous l'influence de la modification de la couverture végétale (forestation ou déforestation) ou des procédés cultureux (prairies, culture annuelle...) ou encore sous l'influence industrielle de l'homme (développement de l'extraction minière, urbanisation...). Stopper l'eau où elle tombe, réduire l'érosion du sol et les crues, optimiser l'utilisation des terres sont les objectifs pratiques de bon nombre de ces expérimentations. On les réalise en considérant deux bassins identiques, autant que faire se peut, et l'on étudie après détermination de leurs régimes la modification apportée à l'un d'entre eux par intervention humaine; la différence peut exister à l'origine pour le seul facteur visé (taux de forêt, par exemple). A cette méthode des bassins jumeaux (paired watersheds) on substitue parfois, devant la difficulté de les trouver vraiment identiques, un simple bassin (single watersheds) sur lequel on procède au traitement modificateur à l'issue d'une première période d'observations, ce qui double le temps d'expérimentation (3 et 5).

1.3. — La parcelle expérimentale constitue le 3^e moyen d'investigation.

Sa vocation première a été et reste d'ailleurs le démontage du mécanisme de l'érosion du sol en fonction de la nature de ce dernier, du type de couvert végétal, de la pente et de l'averse causale; l'établissement de relations quantitatives entre la quantité de terre érodée et les facteurs conditionnels est en bonne voie (4 et 9).

La parcelle peut aussi permettre l'appréciation du rôle de la pente dans la formation du ruissellement, comme celle de la modification du bilan hydrique après traitement du sol ou du couvert végétal.

S. BLIDARU (10) cite un exemple d'analyse des 3 formes d'écoulements (de surface, hypodermique et de base) séparés par 3 collecteurs distincts à l'issue d'une parcelle de 300 m² en Roumanie.

La parcelle est un instrument d'analyse quantitative, mais il est difficile sinon impossible d'extrapoler brutalement les résultats qu'elle fournit à des bassins naturels même de petites dimensions.

Pour les études d'érosion, la surface des parcelles est limitée par le volume des transports solides en dessous de 100 m² (20 m de long sur 5 ou 6 m de large par exemple); pour les études du ruissellement, la surface peut être plus grande et V. A. URYVAEV (11) parle de 200 à 4 500 m² et même de plusieurs hectares en zones de steppe aride.

C'est à l'échelle de la parcelle que l'on peut classer le domaine un peu particulier des études géomorphologiques des versants : mouvement de masses, glissements, abrasion superficielle..., etc., bien qu'il ne s'agisse généralement pas d'observations concentrées dans le temps, comme nous le montrerons plus loin.

1.4. — **Le champ ou terrain de mesures** est l'ultime échelon des moyens d'études hydrologiques. Il s'agit en fait d'enclos ou de lieux fixes en lesquels l'on procède à des observations quantitatives de certains constituants du cycle de l'eau.

Sous ce vocable général, nous groupons :

- les postes climatologiques;
- les stations évaporométriques avec bacs d'eau libre, de sol nu ou couvert de végétation;

- les batteries de lysimètres pour analyse de l'infiltration et de l'évapotranspiration;
- les stations de mesure des humidités du sol..., etc.

Toutes ces opérations qui tiennent autant de la technique du laboratoire que de celle du terrain sont généralement concentrées en un ou plusieurs parcs à l'intérieur du bassin représentatif ou en des points bien définis répartis dans tout le bassin (mesures d'humidité, de la couverture neigeuse, de la fraction de pluie interceptée par la végétation forestière..., etc.).

On essaie donc en ces terrains de mesures d'évaluer directement et quantitativement les termes du bilan hydrique qui, à l'issue de bassin versant, ne sont connus que par différence : l'infiltration, l'évapotranspiration...

La comparaison entre les 2 approches est intéressante.

La tendance actuelle consiste à intégrer les 4 classes de moyens d'investigations décrits, c'est-à-dire à inclure dans tout bassin représentatif, des bassins élémentaires, des parcelles et des terrains de mesures. Les stations complexes russes ont de 5 à 20 bassins élémentaires et autant de parcelles. En pratique, la définition précise des objectifs justifie seule la plus ou moins grande concentration des moyens.

Si le jumelage des bassins élémentaires au bassin représentatif est à recommander fortement pour la plupart des études, l'emploi des parcelles et l'exécution complète de la gamme des mesures au champ sont par contre beaucoup plus rares et spécifiques.

Le résultat final de telles études est l'obtention de relations entre les éléments du bilan hydrique et leurs facteurs conditionnels, ce qui ne peut se faire par des moyens statistiques qu'en possession d'un nombre suffisant d'observations.

La tendance actuelle est à l'accélération du processus de collecte des observations qui peut se réaliser en intensifiant les mesures (réduction de la durée des études), donc les moyens mis en œuvre; outre l'avantage pratique immédiat, on assure de la sorte une meilleure efficacité aux hommes et aux matériels investis.

L'influence du facteur temps est prise en compte par le biais du facteur pluie qui constitue généralement le facteur principal des relations de cause à effet que l'on recherche. On possède en effet toujours d'assez longues séries pluviométriques dans les réseaux synoptiques à partir desquelles il y a lieu d'établir les relations intensités - durées - surfaces - fréquences indispensables à l'avancement des analyses hydrologiques.

Dans certains cas, l'intensification des mesures d'événements naturels sur le terrain ne suffit pas. On procède alors à la création d'événements artificiels provoqués à un rythme plus rapide, comme c'est le cas pour les études d'érosion sur parcelle avec emploi d'un simulateur de pluie (9).

On parle même d'un contrôle artificiel complet de l'étude sur bassin représentatif à partir d'un modèle réduit en laboratoire. Malgré la complexité des opérations de similitude, certains chercheurs se sont lancés dans cette voie, qui paraît encore incertaine. E. NEMETH (12) présente d'ailleurs l'avancement des études hongroises dans ce domaine (difficultés expérimentales), mais la comparaison avec le bassin naturel n'a pas encore été faite.

Certains facteurs physico-climatiques ont une évolution lente qui ne devient perceptible qu'à une certaine échelle de durée, le facteur temps est alors le terme principal des relations recherchées et la conception du bassin représentatif change totalement. En simplifiant à l'extrême on trouve deux nouveaux moyens d'études :

1.5. — **Le bassin repère** (*benchmark*) sur lequel on cherche à connaître avec le maximum de précision l'influence des variations climatiques à long terme sur les constituants du cycle hydrologique en dehors de toute activité humaine. Ce bassin répond aux conditions générales de choix d'implantation et d'exploitation définies pour le bassin représentatif. La localisation d'un bassin repère libre d'intervention humaine pour 10 ans et plus dans chaque région hydrologique homogène est un souhait optimal qui paraît difficile à atteindre d'autant plus que le pays est développé.

Aucune communication à ce symposium ne porte exclusivement sur ce sujet.

1.6. — **Le bassin témoin** — (*vigil*) ou vigie — est destiné à déceler l'évolution à long terme des éléments du cycle hydrologique soumis à une influence humaine normale pour la région considérée.

Le réseau des bassins témoins aux U. S. A. est déjà considérable : 58 bassins isolés et 2 lignes transcontinentales Nord-Sud et Est-Ouest. Selon la description de R. F. HADLEY (13), ces bassins occupent une gamme de surface de 2,5 à 25 km² environ. Les mesures que l'on y exécute sont surtout géomorphologiques (érosion des versants, mouvements des lits, transports solides, caractéristiques d'humidité et d'infiltration du sol, variations du couvert végétal...). La limitation des observations de l'eau (relevés pluviométriques sur totalisateurs et niveaux maximaux des crues sur échelles à maximum) ne paraît pas en harmonie avec les autres mesures et quelque peu déficiente puisque beaucoup de phénomènes géomorphologiques sont liés aux intensités des précipitations et des crues non observées. Il s'agit d'un réseau permanent sur lequel les dépenses de fonctionnement tendent à être modérées; n'aurait-on pas obtenu de meilleurs résultats pour la même somme avec moins de bassins et plus de mesures?

L'intérêt des bassins témoins paraît notable pour les pays en voie de développement accéléré, dans lesquels l'intervention humaine sur la nature va se manifester de manière tangible au cours de la fin de notre xx^e siècle.

2. — L'ÉQUIPEMENT DES BASSINS REPRÉSENTATIFS ET AUTRES TERRAINS D'ÉTUDES

La tendance générale dans le domaine de l'équipement et des instruments de mesures est à l'augmentation de la densité d'appareils en fonctionnement sur le terrain et à celle de leur automaticité.

2.1. — Mesures hydropluviométriques.

Les communications de R. B. HICKOK et W. O. REE pour les U. S. A. (14) et celle de V. A. URYVAEV (11) pour l'U. R. S. S. fournissent la plus grande partie de la documentation intéressante sur ces mesures.

L'introduction du bassin élémentaire dans les moyens d'études a rendu indispensable la connaissance des intensités de précipitation à l'échelle des 15 minutes, parfois même de la minute. Aux U. S. A. la tendance est à l'équipement quasi total en pluviographes avec les densités moyennes suivantes :

1	jusqu'à	1,5 km ²	de bassin versant
2	—	2 km ²	—
3	—	10 km ²	—
1	pour	8 km ²	sur les grands bassins

Ces densités sont accrues pour les zones arides à orages très localisés : au moins 1 pluviographe dès 0,2 km² de bassin versant et 1 poste pour 2,5 km² sur les grandes surfaces. Dans ce dernier cas, la précision de la connaissance des précipitations peut être accrue par l'emploi du radar, comme le signale L. L. HARROLD pour le bassin représentatif de Tombstone (Arizona) déjà doté de 82 pluviographes sur 150 km² (15). Ce même auteur cite aussi un exemple intéressant et économique de préhension des très fortes précipitations à grand rayon d'action par encadrement du réseau pluviométrique dense de 250 km² du bassin représentatif de Coshocton (Ohio), à l'aide d'un réseau moins dense sur 4 000 km² tenu par des observateurs bénévoles n'opérant de relevés que pour des pluies très importantes.

En U. R. S. S., la densité maximale de postes pluviométriques serait de 1 appareil pour 8 km² aussi, parmi lesquels 60 % seulement d'enregistreurs (bassin de montagne de Malaja Almaatinka).

La tendance américaine est aux enregistreurs à pesée, munis d'entonnoirs de 20,6 cm de diamètre sans réduction d'échelle de la hauteur de pluie (1/1) et dotés de rotation variant de 6 (5 cm par heure de déroulement) à 24 heures selon la précision requise.

Toujours aux U. S. A., la mesure des niveaux d'eau dans les thalwegs s'effectue par limni-graphes avec une échelle de réduction des hauteurs généralement égale à 5/12 et une vitesse de déroulement variant de 1,50 m à 0,38 m par jour quand la surface drainée croît d'en dessous de 1 km² à plus de 10 km².

Jusqu'à cette même limite de 10 km², tous les bassins sont équipés de jaugeurs artificiels :

- a) déversoirs en H à profil trapézoïdal pour les bassins de quelques hectares;
- b) déversoirs triangulaires ou jaugeur Parshall ou Venturi entre 0,1 et 10 km² avec, le cas échéant, un second déversoir pour les étiages et un pavage du bief d'amenée si les transports solides abondent.

L'étalonnage des grands bassins s'effectue par jaugeages au moulinet; on installe des sections de contrôle en béton calibrées en laboratoire sur modèle réduit pour certains cours d'eau très mobiles à crues violentes des zones arides, afin d'obtenir une stabilisation du lit sans dépôt solide, l'axe de mesure coïncidant avec une section critique de l'écoulement.

2.2. — Mesures géomorphologiques.

Elles sont excellemment décrites par W. W. EMMETT (16) traitant du réseau de bassins témoins des U. S. A.

On peut passer rapidement :

- a) sur les mesures de glissement de terrain opérées soit à l'aide de lignes de piquets métalliques (25 cm de long dont 20 dans le sol, 2-12 mm de diamètre), soit avec des piquets préalablement sectionnés (1 mm de diamètre, tronçons de 2 cm) et reposant sur la face amont d'un trou de 50 cm rebouché;
- b) sur les mesures d'érosion de pente en place à l'aide de clous de 25 cm dotés d'une large rondelle et alignés le long d'une courbe de niveau ou de la plus grande pente (la distance entre rondelle et tête de clou représente l'érosion, le dépôt se matérialise sur la rondelle);
- c) sur les mouvements latéraux des thalwegs à l'aide de barres horizontales d'acier enfoncées en berge.

L'efficacité, la précision de ces dispositifs sont mises en doute par de nombreux pédologues estimant à juste titre que les situations naturelles sont généralement trop complexes pour se laisser démontrer aussi facilement.

Plus intéressants paraissent être les dispositifs suivants, auxquels ne peuvent être appliquées les réserves précédentes :

- d) la chaîne enfoncée verticalement dans le lit mobile jusqu'au niveau de base qui permet de noter le creusement (longueur de la partie devenue horizontale de la chaîne) et l'alluvionnement (épaisseur de sédiments recouvrant ladite partie de la chaîne);
- e) l'échelle à maximums constituée d'un tube d'acier perforé contenant une lame de bois graduée et du liège pulvérulent, lequel monte avec l'eau et se fixe au bois, lors de la décrue, au niveau maximal atteint.

Dans les bassins témoins, ces dispositifs de mesures sont relevés 1 ou 2 fois l'an; ils peuvent l'être après chaque crue en cas de besoin.

Rien de bien nouveau en ce qui concerne les mesures des transports solides en rivière, aux U. S. A. (4-14). Pour le débit en suspension, on s'en tient toujours aux fosses pour les petits bassins (la mesure de l'alluvionnement dans les réservoirs est l'opération parallèle pour les cours d'eau plus importants), aux prélèvements automatiques ou mieux manuels; la mesure quantitative du débit de charriage n'a toujours pas fait de progrès substantiel.

2.3. — Mesures spéciales.

L'humidité du sol, tant aux U. S. A. qu'en U. R. S. S., fait l'objet de mesures systématiques, assez denses sur la majorité des bassins représentatifs. On y trouve en concurrence 4 procédés aux avantages et inconvénients mitigés :

- la pesée au laboratoire d'échantillon de sol (long, encombrant et perturbateur);
- la variation de résistance électrique de blocs de plâtre en place (inapplicable en terrains très chargés en sels solubles);
- le tensiomètre remplace avantageusement le bloc de plâtre pour les fortes humidités;
- la sonde à neutrons se répand de plus en plus grâce à sa facilité et sa rapidité d'emploi et sa mobilité, mais son tarage fréquent est requis, tandis que des imperfections sont signalées dans les sols à fente de retrait et pour l'horizon superficiel du sol.

Dans le domaine des mesures climatologiques et évaporométriques on ne note pas d'éléments nouveaux importants. La recherche de la fidélité et de la justesse des mesures sur bac d'évaporation standards (classe A ou GGI 3 000) s'oriente vers une comparaison avec de très grands bacs (20 m² en U. R. S. S. où l'appareil standard local paraît l'emporter sur l'américain).

Les buts multiples poursuivis par les spécialistes de lysimètres justifient peut-être la grande variation des dimensions rencontrées; on ne peut rien conclure de positif sur ces appareils actuellement pour les questions nous intéressant au premier chef.

2.4. — Automatisation et télé-mesure.

Éviter les erreurs des observateurs, alléger la charge d'exploitation des bassins, accélérer l'obtention des données élaborées, quelques motifs parmi d'autres qui justifient l'automatisation des observations hydroclimatologiques.

Supprimer les problèmes d'accessibilité, accroître le rendement des investissements justifient l'implantation des dispositifs de télé-mesures.

G. F. SMOOT (17) développe les résultats acquis par le U. S. Geological Survey dans le premier domaine. Un enregistreur automatique (Fisher and Porter Cy) sur ruban perforé est en fonctionnement normal et valable; l'enregistrement s'y effectue par « lecture » d'une donnée sur un cadran munie d'une flèche repère; le système binaire de numérotation permet l'inscription de nombres à 4 chiffres et le ruban offre 60 000 lectures (150 m de long, 2,5 mm par lecture, 5,4 cm de large).

L'enregistrement est commandé automatiquement par une horloge électrique indépendante; un sélecteur à multi-canaux permet l'enregistrement successif de plusieurs variables selon un programme préétabli (niveau de cours d'eau, hauteur de pluie, température, humidité du sol, direction et vitesse du vent....).

Comparés à un limnigramme, les résultats de cet enregistreur atteindraient une position à 1 % en ajustant convenablement l'intervalle de lecture : 15 minutes pour un bassin de moins de 100 km² (750 km² en zone aride), 1 heure au-dessus de 250 km² (13 000 km² en zone aride).

Sur la transmission par ondes courtes à une certaine distance des mesures ponctuelles de niveau d'eau ou de pluie, il n'y a pas eu de communication spéciale. Mais de nombreux dispositifs sont en cours d'expérimentation, comme celui du bassin de Rakaca (230 km²) décrit par T. PUSKAS (18) et que nous avons visité; tous les problèmes ne sont pas résolus (parasites dus aux orages) mais la modulation de fréquence semble devoir donner satisfaction tout au moins pour des distances de quelques dizaines de kilomètres.

3. — RÉOLUTION DE L'OPÉRATEUR PLUIES-DÉBITS

Dans beaucoup de communications, après l'exposé des motifs du programme d'études et des moyens d'exploitation, on passe directement aux résultats sans que soit détaillés les processus analytiques employés. Certes il s'agit généralement de méthodes statistiques (régressions

multiples, ajustements graphiques, etc.), mais l'absence d'explications détaillées ne permet pas d'apprécier la valeur d'un processus qui dépend de son degré de précision, ni les formes de relations trouvées entre termes du bilan hydrique et facteurs conditionnels qui sont du plus haut intérêt. Doit-on supposer que beaucoup d'études n'ont pas permis de dégager de telles relations avec une précision suffisante ?

On en apprécie davantage les deux méthodes explicitées par l'équipe américaine W. HAMON et J. M. ROSA (19) d'une part et par Y. BRUNET-MORET (20) d'autre part.

La première méthode est entièrement analytique et comporte une succession de régressions pour estimer le volume de ruissellement d'un cours d'eau (région humide du Mississipi, surface d'un hectare) en fonction de la pluie moyenne sur le bassin à l'issue de chaque averse et de la pluie d'imbibition initiale laquelle varie linéairement en raison inverse d'un indice d'humidité du sol pris égal à la quantité d'eau, contenue dans une certaine tranche de sol, au-dessus de celle correspondant au point de flétrissement.

Ainsi le volume ruisselé Q est-il représenté par la relation :

$$Q = \frac{(P - P_1)^2}{(P - P_1)(c + kP_1)}$$

dans laquelle P est la pluie moyenne (supposée d'intensité constante) et P_1 la pluie d'imbibition égale à : $a - b \text{ ASM}$, ASM étant l'indice d'humidité. Cette formule peut d'ailleurs se mettre sous une forme plus compliquée afin d'être en harmonie avec l'hypothèse de base théorique de HORTON sur la variation exponentielle négative de la capacité d'infiltration avec le déroulement de la pluie.

En comparaison, si la seconde méthode est moins générale, elle semble mieux s'adapter au cas particulier d'un bassin tropical humide ($1,5 \text{ km}^2$); reposant sur une base d'ajustement graphique (méthode des déviations résiduelles), elle est plus souple. En effet, l'auteur ne cherche pas à formuler de manière analytique les relations qu'il trouve, mais se contente de leur donner une forme graphique quelconque minimisant l'écart absolu moyen. Dans cette méthode, on prend en compte un indice d'humidité moins difficile à mesurer (fonction uniquement de la somme des pluies antérieures et de l'intervalle à la pluie précédente), et aussi l'intensité de la pluie (définition d'un corps utile de la pluie d'une intensité supérieure à un certain seuil) et sa durée.

Les auteurs américains (19) ont poussé leurs analyses vers les autres constituants du bilan hydrique, mais la qualité des résultats paraît ici moins convaincante parce que plus théorique, les vérifications expérimentales n'étant pas explicitées. La percolation vers la nappe est évaluée en fonction de l'indice d'humidité du sol qui détermine aussi le pourcentage réellement évaporé de l'évapotranspiration potentielle calculée selon une formule alliant l'insolation et la densité de vapeur d'eau saturée à la température moyenne de l'air. La percolation vers la nappe est en outre contrôlée par les variations du tarissement du cours d'eau.

On note enfin dans la même communication, à côté des méthodes classiques des hydrogrammes unitaires et synthétiques, le rôle croissant que jouent les procédés purement mathématiques ou découlant de l'analogie électrique dans le calcul de la forme d'un hydrogramme résultant d'une certaine pluie.

La résolution de l'opérateur pluie - débits et à un moindre degré des opérateurs annexes pour l'infiltration et l'évapotranspiration paraît en bonne voie, que l'on procède analytiquement ou graphiquement.

Par contre, on ne note pas de progrès vraiment tangible dans l'établissement des relations entre constituants du bilan hydrique et facteurs physico-climatiques. La synthèse des résultats d'analyse obtenus sur les bassins représentatifs sous différentes conditions de milieu n'est pas très avancée, bien que plusieurs auteurs fassent état de conclusions patentes tirées surtout des bassins expérimentaux; mais dans ce cas aussi ces conclusions paraissent sans que soit présenté le détail analytique des processus employés pour les dégager.

L'appréciation quantitative de la représentativité physique d'un bassin vis-à-vis d'un autre reste le goulet d'étranglement de l'emploi des bassins représentatifs pour étendre les données d'observations qu'ils fournissent à des bassins voisins inobservés.

4. — L'INFORMATION DISPONIBLE ET SA PUBLICATION

L'information recueillie sur les bassins représentatifs et autres terrains de mesures, déjà considérable, va croître à un rythme accéléré sous l'impulsion du programme de la Décennie internationale. L'efficacité des recherches entreprises dépend essentiellement de la forme sous laquelle cette information sera disponible dans le monde. Un inventaire de l'information existante et une normalisation de sa publication s'imposent.

C'est encore aux U. S. A. qu'il faut chercher des bases pour réaliser ces deux opérations. M. N. HOLTAN et D. E. WHELAN (21) présentent un excellent condensé des travaux accomplis dans le domaine de la publication de l'information recueillie par le Service des Recherches agricoles sur plus de 300 bassins situés en 71 régions différentes.

Il existe tout d'abord une série de 3 publications épongeant en quelque sorte la somme historique des informations sur tous les bassins étudiés :

- a) précipitations et ruissellements mensuels de 1923 à 1957;
- b) crues maximales annuelles de 1923 à 1957;
- c) événements doubles averses — crues sélectionnées de 1933 à 1959.

Puis des publications pluriannuelles (1956-1959 et 1960-1961) proposent toutes ces informations pour les récentes années; un annuaire est prévu pour leur succéder.

Dans ces publications, on trouve, pour chaque bassin, l'information condensée en 4 fiches :

1^{re} fiche — Description du bassin — Assez analogue à celles que nous employons à l'O.R.S.T.O.M. quant au contenu, elle fait cependant une part plus détaillée à la pédologie et à la géologie puisque pour chaque type de sol (horizon supérieur et sous-sol) et pour chaque substratum, il est fait état de l'épaisseur moyenne, de la structure et de la perméabilité.

2^e fiche — Carte du bassin — Relief Hydrographie — Équipement.

3^e fiche — Carte géologique du bassin et coupes caractéristiques.

4^e fiche — Données hydrologiques comprenant :

- précipitations et écoulements mensuels;
- crue maximale annuelle (date et volume écoulé pour différents intervalles de 1 heure à 8 jours);
- événements sélectionnés averses — crues (conditions antécédentes de pluie et d'écoulement par jour — hyétogramme et hydrogramme en tableau — graphique du hyétogramme et de l'hydrogramme).

A côté de ces publications de l'information brute, pourrait-on dire, des travaux de synthèse nationale sont réalisés :

- courbes intensités — durées — surfaces — fréquences des précipitations et carte des pluies maximales probables;
- formules régionales de calcul de l'écoulement selon le type exposé par W. R. HAMON (19);
- formules régionales de variation du débit de crue moyen journalier en fonction de la superficie drainée et coefficients de passage au débit instantané correspondant.

Si la qualité intrinsèque de l'information disponible n'est pas bien différente de celle recueillie sur les bassins de l'O. R. S. T. O. M., la publication en est cependant beaucoup plus avancée.

De nombreux points intéressants ont été éclairés par le symposium de Budapest; nous en avons évoqué un grand nombre au cours de ces réflexions. Pour conclure, nous mettrons l'accent sur les plus saillants d'entre eux qui méritent de recevoir un développement dans nos activités :

- associer des bassins élémentaires à la plupart des bassins représentatifs pour permettre une meilleure connaissance des relations entre éléments du bilan hydrique et facteurs physiques;
- intensifier la densité des pluviographes, tout en prenant garde au gonflement de l'information recueillie dont le traitement risque de devenir vite démesurément lourd;
- accélérer la publication de l'information recueillie sous une forme normalisée satisfaisante.

RÉFÉRENCES DES COMMUNICATIONS CITÉES

- (1) — W. LASZLOFFY (Hongrie). — « Terrains d'études dans les recherches hydrologiques hongroises. »
- (2) — K. SZESZTAY (Hongrie). — « On principles of establishing hydrological representative and experimental areas. »
- (3) — W. D. STRIFFLER (U. S. A.). — « The selection of experimental watersheds and methods in disturbed forest areas. »
- (4) — R. F. PIEST and M. G. HEINEMANN (U. S. A.). — « Experimental watersheds contribute useful sedimentation facts. »
- (5) — L. L. KELLY and L. M. GLYMPH Jr. (U. S. A.). — « Experimental watersheds and hydrologic research. »
- (6) — M. I. L'VOVICH (U. R. S. S.). — « Experimental soil hydrologic water-balance investigations. »
- (7) — P. DUBREUIL (France). — « Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes. »
- (8) — C. TOEBES (N.-Zélande). — « The planning of representative and experimental basin networks in New Zealand. »
- (9) — Y. CORMARY (France). — « Le bassin expérimental en tant qu'outil de recherche en matière de conservation des eaux et du sol. »
- (10) — S. BLIDARU (Roumanie). — « Emploi des bassins représentatifs et des stations expérimentales à l'étude des phénomènes hydrologiques. »
- (11) — V. A. URYVAEV (U. R. S. S.). — « The basic principles of the methods and the programme of the field water balance research in the U. S. S. R. »
- (12) — E. NEMETH (Hongrie). — « Étude sur modèle réduit du ruissellement s'accomplissant dans un bassin versant. »
- (13) — R. F. HADLEY (U. S. A.). — « Selecting sites for observation of geomorphic and hydrologic processes through time. »
- (14) — R. B. HICKOK and W. O. REE (U. S. A.). — « Instrumentation of experimental watersheds. »
- (15) — L. L. HARROLD and J. C. STEPHENS (U. S. A.). — « Experimental watersheds for research on upstream surface waters. »
- (16) — W. W. EMMETT (U. S. A.). — « The vigil network : methods of measurement and a sampling of data collected. »
- (17) — G. F. SMOOT (U. S. A.). — « New instrumentation for watershed investigation. »
- (18) — T. PUSKAS (Hongrie). — « Representative basins in the hilly regions of Hungary. »
- (19) — W. R. HAMON and J. M. ROSA (U. S. A.). — « Use of experimental watershed data in predicting the water balance. »
- (20) — Y. BRUNET-MORET (France). — « Étude des facteurs du ruissellement sur un bassin représentatif du Cameroun, petit bassin de Boundjouk. »
- (21) — H. N. HOLTAN and D. E. WHEELAN (U. S. A.). — « National summaries and analyse on experimental watershed data. »

Les textes de toutes ces communications figurent dans la publication n° 66 de l'A. I. H. S. (2 volumes).